

اعتبارسنجی برآوردهای بارندگی روزانه شبکه APHRODIT و برآوردهای حاصل از درون-یابی مکانی بارندگی در استان خوزستان

مژده جامعی*^۱ - محمد موسوی بایگی^۲ - محمد بنایان اول^۳

چکیده

وجود داده‌های صحیح و قابل اطمینان بارندگی در مطالعات هیدرولوژی، مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب اهمیت زیادی دارد. در این مطالعه برای دستیابی به مناسب‌ترین روش برآورد بارندگی منطقه‌ای در استان خوزستان، داده‌های بارندگی روزانه برآوردی حاصل از مناسب‌ترین روش درون‌یابی و داده‌های بارندگی روزانه موجود شبکه APHRODITE طی سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۰۰ با مقادیر اندازه‌گیری شده در ۴۴ ایستگاه هواشناسی مقایسه شدند. مناسب‌ترین روش درون‌یابی بارندگی روزانه از ارزیابی چهار روش: وزنی عکس فاصله، کریجینگ عمومی، کوکریجینگ و رگرسیون کریجینگ تعیین گردید. در روش‌های کریجینگ برای تحلیل نیم‌تغییرنماها پنج مدل نیم-تغییرنمای کروی، نمایی، خطی، خطی دارای حد آستانه و گوسی بر داده‌های بارندگی برازش داده شد. مقایسه داده‌های بارندگی روزانه APHRODITE با داده‌های ثبت شده ایستگاه‌ها نیز از روش نزدیکترین همسایگی صورت گرفت. برای ارزیابی روش‌های مختلف از اعتبارسنجی متقاطع استفاده شده و تعیین دقیق‌ترین روش برآورد بارندگی روزانه براساس شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین خطای اریب، خطای مطلق میانگین و تحلیل رگرسیونی انجام گردید. نتایج ارزیابی خطای روش‌های درون‌یابی نشان داد که روش رگرسیون کریجینگ دقت بالاتری در درون‌یابی داده‌های بارندگی روزانه استان خوزستان دارد. بنابراین روش‌های درون‌یابی مبتنی بر روابط رگرسیونی که از چندین متغیر کمکی استفاده می‌کنند، دقت برآورد بارندگی را در منطقه بهبود می‌دهند. مقایسه شاخص‌های خطا و تحلیل رگرسیونی روش رگرسیون کریجینگ و شبکه APHRODITE بیانگر آن بود که دقت برآورد رگرسیون کریجینگ در بیشتر روزهای مورد بررسی بالاتر از APHRODITE است. بنابراین برای دستیابی به توزیع مکانی و برآورد منطقه‌ای بارندگی روزانه در استان خوزستان، استفاده از روش درون‌یابی رگرسیون کریجینگ دقیق‌تر از داده‌های برآوردی APHRODITE می‌باشد.

واژه‌های کلیدی: بارندگی روزانه، رگرسیون کریجینگ، APHRODITE، خوزستان

۱- دانشجوی دکتری هواشناسی کشاورزی، دانشگاه فردوسی مشهد (*ایمیل نویسنده مسئول: mozhdeh.jamei@gmail.com)

۲- استاد هواشناسی دانشگاه فردوسی مشهد

۳- دانشیار دانشکده کشاورزی دانشگاه فردوسی مشهد

درون‌یابی بارندگی ماهانه حوضه آبریزی در شیلی روش‌های کریجینگ را برای مناطق کوهستانی توصیه کردند. نتایج مطالعه فرانسیسکو (۱۰) در جنوب غرب اسپانیا حاکی از آن بود که الگوریتم‌های چندمتغیره نسبت به الگوریتم‌های ساده دارای خطای کمتری می‌باشند. ژانگ و سرینیواسان (۲۰) روش کریجینگ با روند خارجی را مناسب‌ترین روش برآورد بارندگی روزانه در پائین دست رودخانه زرد در چین معرفی کردند. کولیالی و بیکر (۸) جهت درون‌یابی بارش سالانه در جنوب آفریقا، روش کریجینگ معمولی را توصیه نمودند.

از دیگر روش‌های دستیابی به بارندگی روزانه در مناطق وسیع، استفاده از پایگاه‌های داده بارندگی شبکه‌بندی شده موجود با پوشش منطقه‌ای و جهانی و در مقیاس زمانی روزانه و ساعتی است. در دهه‌های اخیر این پایگاه داده‌ها به دو صورت داده‌های مبتنی بر ماهواره و داده‌های مبتنی بر باران‌سنج‌ها در دسترس بوده‌اند (۱۷). اما تفاوت‌های زیادی در برآوردهای این پایگاه داده‌ها وجود دارد و بسیاری از آن‌ها مانند تولیدات ماهواره‌ای قدرت تفکیک مکانی مناسب و داده‌های طولانی‌مدت را ندارند (۱۱). در سال ۲۰۰۶ پروژه‌ای تحت عنوان *APHRODITE*^۱ توسط مرکز تحقیقات بشر و طبیعت و مرکز تحقیقات هواشناسی کشور ژاپن، به منظور ایجاد پایگاه داده‌های بارندگی روزانه شبکه‌بندی شده در سراسر قاره آسیا با قدرت تفکیک مکانی بالا و براساس مشاهدات باران‌سنج‌ها آغاز شد. این پایگاه داده که دوره آماری بیش از ۵۷ سال را پوشش می‌دهد با روش درون‌یابی *ADW*^۲ تهیه شده است (۲۱). مطالعات محدودی در زمینه کاربرد این پایگاه داده‌ها در ایران و جهان صورت گرفته است. بارانی‌زاده و همکاران (۱) جهت ارزیابی عملکرد الگوریتم *PERSIANN* در پایش بارندگی ایران، داده‌های بارندگی *APHRODITE* را به عنوان داده مرجع بکار برد. رضیئی و همکاران (۳) برای تعیین الگوهای روزانه گردش جو زمستانه در ایران و خاورمیانه از داده‌های بارندگی *APHRODITE* استفاده کردند. نتیجه مطالعه ویو و همکاران (۱۷) برای شبیه‌سازی رواناب حوضه آبریزی در ویتنام نشان داد که داده‌های *APHRODITE* در مقیاس روزانه بهترین تطابق را با داده‌های ایستگاه‌ها دارند. رضیئی و همکاران (۱۴)

در بررسی پدیده‌های جوی بارندگی از مهمترین عناصر اقلیمی است که تغییرات مکانی و زمانی زیادی دارد. در بسیاری از مطالعات بیلان منابع آب، مدیریت و برنامه‌ریزی منابع آب، پیش‌بینی سیلاب و مطالعات اقلیمی وجود داده‌های مشاهداتی بارندگی و توزیع مکانی و زمانی آن در مناطق وسیع اهمیت بسزایی دارد. اما در بیشتر موارد شبکه ایستگاه‌های باران‌سنجی پراکنده بوده و داده‌های مشاهداتی موجود برای تحلیل توزیع مکانی بارندگی کافی نمی‌باشند. از سوی دیگر داده‌های بارندگی روزانه و ساعتی از ورودی‌های مهم در مطالعات مدل سازی هیدرولوژیکی هستند. از آنجایی که اغلب الگوهای مکانی بارندگی در مقیاس‌های زمانی کوتاه مدت بسیار ناهمگن می‌باشند (۷)، بنابراین دستیابی به روشی مناسب جهت برآورد منطقه‌ای بارندگی روزانه در سطوح وسیع ضروری است. از مهمترین روش‌های برآورد منطقه‌ای بارندگی، روش‌های درون‌یابی می‌باشند که در این روش‌ها از مقادیر معلوم نمونه‌برداری شده، برای پیش‌بینی مقادیر مجهول در محل‌های نمونه‌برداری نشده استفاده می‌شود. انتخاب روش درون‌یابی به طبیعت متغیر و تغییرات آن بستگی دارد و برای حالات مختلف هیچگاه استفاده از یک روش به عنوان روش بهینه پیشنهاد نمی‌شود، چون یک روش خاص در شرایط مختلف دقت‌های متفاوتی دارد. مطالعات متعددی در زمینه برآورد بارندگی با استفاده از روش‌های درون‌یابی در ایران و جهان انجام شده است که نتایج متفاوتی داشته‌اند. نادری و همکاران (۶) روش رگرسیون کریجینگ را مناسب‌ترین روش درون‌یابی بارندگی ماهانه و سالانه در استان خوزستان معرفی کردند. میرموسوی و همکاران (۵) کریجینگ معمولی با مدل دایره‌ای را مناسب‌ترین روش درون‌یابی بارندگی سالانه در استان اصفهان معرفی کردند. واگنر و همکاران (۱۸) در بررسی روش‌های درون‌یابی بارندگی روزانه به این نتیجه رسیدند که روش‌های مبتنی بر معادله رگرسیون که از متغیرهای کمکی استفاده می‌کنند، بهترین نتایج را دارند. مطالعه دی‌پیزا و همکاران (۹) نیز بیانگر آن بود که روش‌های تک متغیره در درون‌یابی بارندگی خطای بیشتری داشته و رگرسیون کریجینگ بهترین روش برای داده‌های ماهانه و سالانه در سیسیل ایتالیا می‌باشد. وورون و هابرلند (۱۶) نشان دادند که در شبکه‌های باران‌سنجی وسیع استفاده از متغیرهای کمکی الگوهای مکانی بارندگی را بطور قابل ملاحظه بهبود می‌دهند. تورس و جاکوبین (۱۵) برای

1 - Asian Precipitation -Highly Resolved Observational Data Integration Towards the Evaluation of Water Resources

2 - Angular-Distance-Weighting

۴۷° تا ۳۳° ۵۰' طول شرقی و ۲۹° و ۳۳° عرض شمالی، در جنوب غربی ایران واقع است. محدوده ارتفاعی خوزستان از صفر در سواحل خلیج فارس تا ۳۷۱۲ متر در مناطق کوهستانی شمال شرق می‌باشد. این منطقه دارای اقلیم خشک و نیمه خشک بوده و دوره بارندگی آن معمولاً از مهرماه تا اردیبهشت ماه است. از نظر توپوگرافی خوزستان به دو بخش جلگه‌ای و کوهستانی تقسیم می‌شود.

داده‌های مورد استفاده

با توجه به اینکه داده‌های بارندگی APHRODIT برای سال‌های ۲۰۰۷-۱۹۵۱ برآورد شده‌اند، لذا جهت انتخاب دوره-ی آماری مشترک بین این داده‌ها و داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌های هواشناسی، آمار همه ایستگاه‌های استان مورد بررسی قرار گرفتند. در نهایت دوره آماری ۸ ساله ۲۰۰۰ تا ۲۰۰۷ کامل‌ترین دوره در ۴۴ ایستگاه (۱۵ ایستگاه باران سنجی و ۹ ایستگاه کلیماتولوژی سازمان هواشناسی، ۸ ایستگاه باران سنجی و ۱۲ ایستگاه تبخیرسنجی وزارت نیرو) تشخیص داده شد. برای هر سال مطالعاتی ۴ روزی که بارندگی در کل استان خوزستان رخ داده باشد انتخاب گردیده و در مجموع ۳۲ سری داده بارندگی روزانه در این مطالعه مورد بررسی قرار گرفتند که در جدول ۱ روزهای منتخب مشخص شده‌اند.

رابطه بین انواع گردش‌های جوی بزرگ مقیاس و رژیم‌های فصلی بارندگی روزانه در سراسر ایران را به کمک داده‌های APHRODITE ارزیابی کردند. راجیوان و بهاتا (۱۳) جهت بررسی کیفیت داده‌های شبکه بارندگی هند، آن‌ها را با داده‌های شبکه APHRODITE مقایسه نمودند.

استان خوزستان با هزاران هکتار اراضی حاصلخیز از قطب-های مهم کشاورزی در ایران است که علیرغم گستردگی منابع آب در آن، همواره مشکل تامین آب کشاورزی بخصوص در شرایط خشکسالی در آن مطرح است. لذا جهت برنامه‌ریزی و مدیریت صحیح منابع آب در استان خوزستان و با توجه توپوگرافی منطقه و فقدان ایستگاه‌های هواشناسی مرتفع با آمار درازمدت، برای دسترسی به داده‌های بارندگی منطقه‌ای و درازمدت استفاده از پایگاه‌های داده بارندگی شبکه‌بندی شده جهانی موجود و یا استفاده از یک روش درون‌یابی مناسب ضروری است. بنابراین هدف این مطالعه دستیابی به مناسب‌ترین روش برآورد بارندگی منطقه‌ای در استان خوزستان از طریق مقایسه داده‌های بارندگی روزانه شبکه APHRODITE با داده‌های برآوردی حاصل از مناسب‌ترین روش درون‌یابی می‌باشد.

مواد و روش‌ها

محدوده مطالعاتی

استان خوزستان با مساحت ۶۴۷۴۶ کیلومترمربع، بین ۴۰'

جدول ۱- روزهای منتخب بارندگی در ایستگاه‌ها

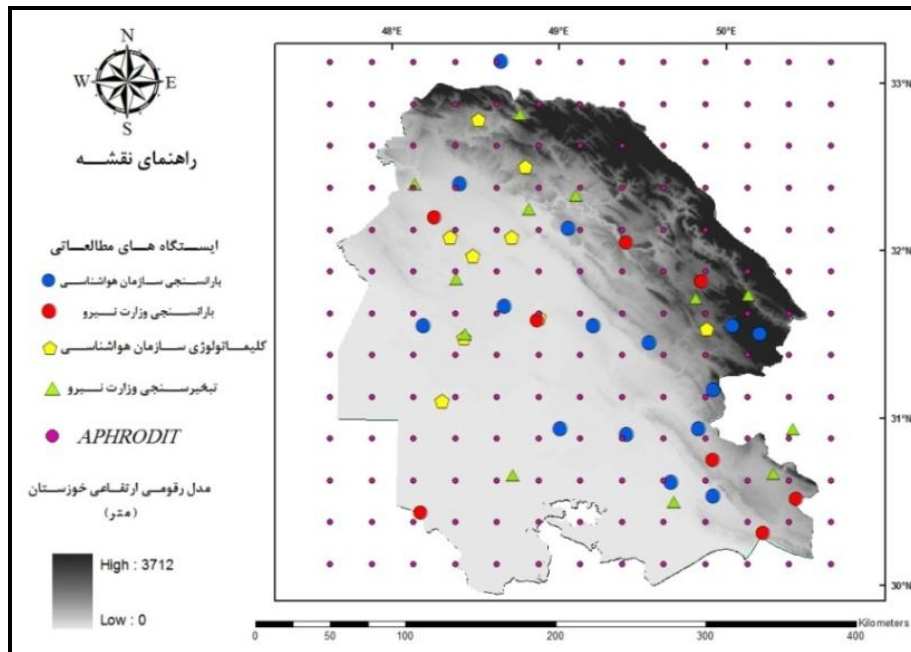
سال	ماه	روز	سال	ماه	روز
۲۰۰۰	ژانویه	۶	۲۰۰۴	ژانویه	۱۳
۲۰۰۰	فوریه	۱۴	۲۰۰۴	فوریه	۲
۲۰۰۰	نوامبر	۵	۲۰۰۴	نوامبر	۲۳
۲۰۰۰	دسامبر	۱۱	۲۰۰۴	دسامبر	۲۵
۲۰۰۱	ژانویه	۸	۲۰۰۵	ژانویه	۱۰
۲۰۰۱	فوریه	۱۵	۲۰۰۵	فوریه	۹
۲۰۰۱	مارس	۱۰	۲۰۰۵	نوامبر	۱۶
۲۰۰۱	دسامبر	۸	۲۰۰۵	دسامبر	۲۵
۲۰۰۲	ژانویه	۷	۲۰۰۶	ژانویه	۲۷
۲۰۰۲	فوریه	۱۹	۲۰۰۶	فوریه	۹
۲۰۰۲	مارس	۱۸	۲۰۰۶	نوامبر	۱۳
۲۰۰۲	دسامبر	۱	۲۰۰۶	دسامبر	۱۷
۲۰۰۳	ژانویه	۴	۲۰۰۷	ژانویه	۱۳
۲۰۰۳	فوریه	۱	۲۰۰۷	فوریه	۴
۲۰۰۳	نوامبر	۲۹	۲۰۰۷	مارس	۲۷

۸	دسامبر	۲۰۰۷	۲	دسامبر	۲۰۰۳
---	--------	------	---	--------	------

گردید.

با توجه به دوره آماری منتخب، فایل داده‌های سال‌های ۲۰۰۷-۲۰۰۰ از کل داده‌های (APHRO_ME) انتخاب و فرمت داده‌ها از *nc* به صورت *Excel* تبدیل شد. سپس براساس طول و عرض جغرافیایی محدوده خوزستان، داده‌های بارندگی از کل منطقه خاورمیانه استخراج شده و در نهایت داده‌های ۳۲ روز منتخب از ۳۶۵ روز سال انتخاب شدند. در شکل ۱ پراکندگی ایستگاه‌های هواشناسی منتخب و موقعیت شبکه APHRODIT در استان خوزستان ارائه شده است.

داده‌های APHRODITE " داده‌های یکپارچه مشاهداتی بارندگی آسیا با قدرت تفکیک بالا به منظور ارزیابی منابع آب" به صورت سه مجموعه مجزا مناطق موسمی آسیا، خاور میانه و روسیه را پوشش داده و با قدرت تفکیک مکانی 0.25×0.25 و 0.5×0.5 درجه و با مقیاس زمانی روزانه در پایگاه اینترنتی <http://www.chikyu.ac.jp/precip/index.html> موجود می‌باشند (۲۱). در این تحقیق داده‌های منطقه خاورمیانه (APHRO_ME) از آخرین محصول APHRODIT تحت عنوان *V1101*، با قدرت تفکیک مکانی 0.25×0.25 و فرمت ".nc" از سایت مربوطه اخذ



شکل ۱- پراکندگی ایستگاه‌های منتخب و موقعیت شبکه APHRODIT در استان خوزستان

در این روش فرض بر این است که نقاطی که به هم نزدیک‌ترند شباهت بیشتری نسبت به نقاطی که از هم دورترند دارا هستند. در روش *IDW*، وزن (W_i) برابر عکس فاصله بین ایستگاه تا نقطه مورد بررسی به توان *P* است (رابطه ۱) و هرچه توان بزرگتر باشد اهمیت ایستگاه‌های نزدیک در برآورد بیشتر است و توانی که کمترین خطا را داشته باشد، بعنوان توان بهینه انتخاب می‌شود (۲).

درون‌یابی

در این مطالعه برای تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی بارندگی روزانه چهار روش: وزنی عکس فاصله، کریجینگ عمومی، کوکریجینگ و رگرسیون کریجینگ مورد ارزیابی قرار گرفتند. برای اجرای درون‌یابی‌ها، از قابلیت نرم‌افزارهای *GS+* و "تحلیل‌گر زمین‌آمار" ^۱ نرم‌افزار *ArcGIS9.3* استفاده شد.

روش وزنی عکس‌فاصله (*IDW*)

کوکرچینگ و براساس وجود همبستگی مکانی قوی و معنی‌دار بین متغیر اصلی و کمکی تخمین را اصلاح و دقت آن را بالا برد (۴). همچنین داده‌های متغیر کمکی باید مانند متغیر اصلی از توزیع نرمال تبعیت نموده و تغییرات همزمان متغیر اصلی و کمکی (نیم تغییرنمای متقاطع) باید ساختاردار باشد. در مطالعه حاضر متغیر اصلی بارندگی روزانه و متغیر کمکی ارتفاع ایستگاه است.

رگرسیون کوریجینگ

این روش زمانی کاربرد دارد که داده‌ها در منطقه دارای روند باشند. شرط استفاده از رگرسیون کوریجینگ آن است که یک یا چند متغیر کمکی مستقل به تعداد زیاد در منطقه موجود و بین متغیر وابسته و متغیرهای کمکی، همبستگی خوبی وجود داشته باشد. در این روش ابتدا باید روند موجود در داده‌ها با استفاده از رابطه رگرسیون خطی چندگانه بین متغیر اصلی و متغیرهای کمکی محاسبه و سپس با کم کردن آن از مقادیر متغیر اصلی جزء باقیمانده بدست می‌آید. سپس باقیمانده‌ها را با روش کوریجینگ عمومی درون‌یابی کرده و به لایه مقادیر برآورد شده از رابطه رگرسیونی اضافه می‌شود تا لایه مقادیر نهایی درون‌یابی بدست آید. معادله این روش به صورت زیر است (۱۲):

$$\hat{f}(s_0) = \hat{\alpha} + \hat{\beta}_1 x + \hat{\beta}_2 y + \hat{\beta}_3 h + \sum_{i=1}^n w_i z^*(s_i) \quad (2)$$

در معادله فوق $\hat{\alpha}$ ، $\hat{\beta}_1$ ، $\hat{\beta}_2$ ، $\hat{\beta}_3$ ضرایب معادله رگرسیونی و x ، y و h طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع نقطه s_0 می‌باشد و w_i وزن مربوط به خطای ایستگاه s_i است. همچنین $\hat{f}(s_0)$ مقدار متغیر درون‌یابی شده نقطه s_0 و $z^*(s_i)$ مقدار باقیمانده در ایستگاه s_i است.

مقایسه داده‌های بارندگی APHRODIT با مقادیر ایستگاه‌ها

به روش نزدیکترین همسایگی

برای مقایسه داده‌های بارندگی روزانه برآوردی APHRODIT با مقادیر بارندگی اندازه‌گیری شده در ایستگاه‌ها، از تکنیک نزدیکترین همسایگی در محیط نرم‌افزاری

$$\lambda_i = \frac{1}{\sum_{i=1}^n \frac{1}{d_i^p}} Z^* = \sum_{i=1}^n \lambda_i Z(x_i) \quad (1)$$

در این رابطه Z^* مقدار نقطه مجهول، $Z(x_i)$ مقدار مربوط به نقطه i ام و n تعداد نقاط نمونه‌برداری شده است.

کوریجینگ عمومی

کوریجینگ فرآیند تخمینی نارایب مبتنی بر میانگین متحرک وزن‌دار و با کمترین واریانس تخمین است. رابطه آن مانند روش IDW (رابطه ۱) بیان می‌شود اما تعیین وزن در آن بر اساس آنالیز نیم‌تغییرنما می‌باشد. نیم‌تغییرنما جهت تشریح پیوستگی مکانی متغیر بکار رفته و بدین معناست که نمونه‌های مجاور تا فاصله معینی به هم وابستگی دارند و فرض می‌شود که این وابستگی را می‌توان به صورت مدلی ریاضی ارائه کرد. لذا نیم‌تغییرنما کمیتی برداری بوده که درجه‌ی همبستگی مکانی و شباهت بین نقاط اندازه‌گیری شده را بر حسب مربع تفاضل مقدار دو نقطه و با توجه به جهت و فاصله‌ی آنها نشان می‌دهد.

نیم‌تغییرنما دارای سه مشخصه اثر قطعه‌ای (مولفه بی‌ساختار نیم‌تغییرنما (C_0))، آستانه (حداکثر مقدار نیم‌تغییرنما که مجموع بخش ساختاردار (C) و بدون ساختار (C_0) است) و دامنه تأثیر (فاصله‌ای که در آن نیم‌تغییرنما به حد ثابتی می‌رسد) است (۲). شرط استفاده از روش‌های خانواده کوریجینگ آن است که داده‌ها از توزیع نرمال پیروی کنند. در این مطالعه بررسی نرمال بودن داده‌های بارندگی با استفاده از آماره اندرسون-دارلینگ در سطح اطمینان ۹۵٪ و نرم‌افزار Minitab 16 صورت پذیرفت. برای تعیین نیم‌تغییرنمای بهینه در همه روش‌های کوریجینگ نیز پنج مدل: کروی، نمایی، خطی، خطی دارای حد آستانه و گوسی بر داده‌ها برازش شد و نیم‌تغییرنمای بهینه بر اساس مقدار مجموع مربعات خطا کمتر، ضریب همبستگی بالاتر و نسبت بخش بی‌ساختاردار به کل تغییرپذیری کمتر از ۰/۵ انتخاب می‌شود.

روش کوکوریجینگ

چنانچه از متغیر اصلی در منطقه بدلایلی به اندازه کافی داده نداشته باشیم اما داده‌های یک متغیر کمکی به تعداد زیاد در منطقه موجود باشد، می‌توان با استفاده از روش

رگرسیون، بین داده‌های واقعی و داده‌های برآوردی یک رابطه رگرسیونی خطی ساده به صورت زیر برقرار شده سپس این معادله با خط ۱:۱ مقایسه می‌گردد.

$$Y=a+bX \quad (۶)$$

به عبارتی هر چه عرض از مبدأ (a) به صفر و شیب (b) به یک نزدیکتر و ضریب همبستگی مقادیر واقعی (Y) و برآوردی (X) بالاتر باشد روش مورد نظر از دقت بالاتری برخوردار است.

نتایج و بحث

نتایج درون‌یابی‌ها

روش وزنی عکس فاصله: در این روش پس از اعتبارسنجی متقاطع و محاسبه ریشه میانگین مربعات خطا مشخص شد که از بین توان‌های ۱ تا ۵، توان ۳ به عنوان توان بهینه برای درون‌یابی بارندگی روزانه در خوزستان می‌باشد. همچنین بررسی تاثیر نقاط همسایگی نیز نشان داد که تغییر تعداد نقاط همسایگی، تقریباً تأثیری بر روی دقت این روش ندارد.

روش کوکریجینگ

در این روش تحلیل روابط همبستگی بین متغیر اصلی بارندگی روزانه و متغیر کمکی ارتفاع، نشان داد که در بیشتر روزهای مطالعاتی همبستگی قوی و معنی‌داری در سطح اطمینان ۹۵٪ بین دو متغیر وجود ندارد. بنابراین روش کوکریجینگ به طور کلی از ادامه محاسبات حذف گردید.

آزمون نرمال بودن داده‌ها

نتایج آزمون نرمال بودن داده‌های بارندگی روزانه در روش کریجینگ عمومی و داده‌های باقیمانده‌های در روش رگرسیون کریجینگ بیانگر این بود که در برخی موارد داده‌ها در سطح اطمینان ۹۵٪ از توزیع نرمال پیروی نمی‌کنند. لذا قبل از انجام درون‌یابی‌ها، نرمال سازی داده‌های غیرنرمال با استفاده از تبدیل ریشه دوم صورت پذیرفت.

تحلیل روابط رگرسیون خطی چندگانه در رگرسیون--کریجینگ

نتایج روابط رگرسیون خطی چندگانه در سطح ۹۵٪ بین متغیر وابسته بارندگی و متغیرهای مستقل طول جغرافیایی، عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه‌ها (جدول ۲) مشخص کرد که

ArcGIS9.3 استفاده شد. داده‌های شبکه‌بندی شده بارندگی APHRODIT در یک شبکه منظم 0.25×0.25 برآورد شده‌اند و ایستگاه‌های مطالعاتی در اکثر موارد منطبق بر محل گره‌های شبکه نبوده و از آنها فاصله دارند. از سوی دیگر داده‌های APHRODIT با استفاده از روش درون‌یابی ADW برآورد شده‌اند و امکان درون‌یابی مجدد برای تغییر قدرت تفکیک مکانی یا بدست آوردن لایه‌ای منطبق بر محل ایستگاه‌ها وجود ندارد. لذا برای مقایسه داده‌های برآوردی APHRODIT با داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌ها، مقادیر بارندگی APHRODIT در روزهای مورد بررسی را به صورت لایه‌های اطلاعاتی مجزا و داده‌های ایستگاهی را نیز بصورت لایه‌های نقطه‌ای وارد محیط نرم‌افزاری ArcGIS9.3 گردید. آنگاه فاصله هر ۴۴ ایستگاه مطالعاتی تا نزدیکترین گره شبکه استخراج کرده و بدین ترتیب نزدیکترین گره به هر ایستگاه مشخص شد. سپس مقادیر بارندگی هر گره در مقابل مقدار بارندگی ثبت شده در نزدیکترین ایستگاه قرار گرفت. در نهایت با شاخص‌های ارزیابی خطا، مقادیر خطای APHRODIT نسبت به داده‌های ثبت شده در ایستگاه‌ها بدست آمد.

معیارهای ارزیابی روش‌ها

برای ارزیابی دقت روش‌های مختلف درون‌یابی از تکنیک اعتبارسنجی حذفی یا متقاطع^۱ استفاده شده و برای مقایسه و انتخاب بهترین روش برآورد بارندگی شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا^۲ و میانگین خطای اریب^۳ و خطای مطلق میانگین^۴ و تحلیل رگرسیونی استفاده شدند که به صورت زیر محاسبه می‌گردند (۱۹).

$$RMSE = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)]^2}{N}} \quad (۳)$$

$$MBE = \frac{\sum_{i=1}^N [\hat{Z}(x_i) - Z(x_i)]}{N} \quad (۴)$$

$$MAE = \frac{\sum_{i=1}^N |Z(x_i) - \hat{Z}(x_i)|}{N} \quad (۵)$$

در روابط فوق، $Z(x_i)$ مقدار مشاهده شده و $\hat{Z}(x_i)$ مقدار برآورد شده و N تعداد داده‌ها می‌باشند. در روش تحلیل

- 1 - Cross Validation
- 2 - Root Mean Square Error (RMSE)
- 3 - Mean Bias Error (MBE)
- 4 - Mean Absolute Error (MAE)

فقط در ۲۸ سری از داده‌ها همبستگی معنی‌داری بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل وجود دارد.

جدول ۲- روابط رگرسیون خطی چندگانه بین متغیر بارندگی و متغیرهای طول و عرض جغرافیایی و ارتفاع ایستگاه

روابط رگرسیون خطی چندگانه	روز	ماه	سال	روابط رگرسیون خطی چندگانه	روز	ماه	سال
$13 = -1566 + 16/6 X + 25/4 Y + 0/0073Z$	۱۳	ژانویه	۲۰۰۴	$6 = -723 + 1/44 X + 21/4 Y + 0/00644Z$	۶	ژانویه	۲۰۰۰
$33 = -620 + 6/66 X + 9/51 Y - 0/00242Z$	۲	فوریه	۲۰۰۴	$45 = -1492 + 15/1 X + 24/2 Y + 0/0168 Z$	۱۴	فوریه	۲۰۰۰
$328 = -307 + 0/3 X + 10/1 Y + 0/00501 Z$	۲۳	نوامبر	۲۰۰۴	$310 = -284 + 4/62 X + 1/9 Y - 0/00036 Z$	۵	نوامبر	۲۰۰۰
$360 = -1439 + 17/8 X + 18/7 Y - 0/0126 Z$	۲۵	دسامبر	۲۰۰۴	$346 = -1200 + 8/94 X + 25/3 Y - 0/0132Z$	۱۱	دسامبر	۲۰۰۰
$*10 = -882 + 12/7 X + 8/72 Y - 0/0043 Z$	۱۰	ژانویه	۲۰۰۵	$*8 = 239 - 2/59 X - 3/42 . Y + 0/00083 Z$	۸	ژانویه	۲۰۰۱
$40 = -671 + 7/12 X + 10/4 Y - 0/00292Z$	۹	فوریه	۲۰۰۵	$46 = -142 + 0/31 X + 4/2 Y - 0/00038.Z$	۱۵	فوریه	۲۰۰۱
$320 = -750 + 14/2 X + 2/36 Y - 0/00689Z$	۱۶	نوامبر	۲۰۰۵	$69 = -357 + 3/33 X + 6/37 Y + 0/00443Z$	۱۰	مارس	۲۰۰۱
$359 = -1190 + 19/3 X + 8/5 Y + 0/0070 Z$	۲۵	دسامبر	۲۰۰۵	$*342 = 49 + 3/22 X - 5/75 Y + 0/0064 Z$	۸	دسامبر	۲۰۰۱
$27 = -754 + 15 X + 1/32 Y + 0/0188 Z$	۲۷	ژانویه	۲۰۰۶	$7 = -1197 + 10/3 X + 22/7 Y + 0/0087Z$	۷	ژانویه	۲۰۰۲
$40 = -2060 + 18/1 X + 37/9 Y - 0/00126Z$	۹	فوریه	۲۰۰۶	$50 = -284 + 1/64 X + 6/9 Y - 0/00162 Z$	۱۹	فوریه	۲۰۰۲
$317 = -1171 + 12 X + 19/1 Y + 0/0063Z$	۱۳	نوامبر	۲۰۰۶	$77 = -787 + 12/7 X + 5/95 Y - 0/00041Z$	۱۸	مارس	۲۰۰۲
$351 = -1245 + 16/1 X + 15/7 Y - 0/00219Z$	۱۷	دسامبر	۲۰۰۶	$*335 = -357 + 4/03 X + 5/47 Y + 0/00096 Z$	۱	دسامبر	۲۰۰۲
$13 = -1145 + 12 X + 18/2 Y - 0/0127 Z$	۱۳	ژانویه	۲۰۰۷	$4 = -395 + 8/67 X - 0/37 Y - 0/0117 Z$	۴	ژانویه	۲۰۰۳
$35 = -626 + 6/62 X + 9/93 Y + 0/0188Z$	۴	فوریه	۲۰۰۷	$35 = -236 + 2/36 X + 4/05 Y + 0/00835Z$	۴	فوریه	۲۰۰۳
$86 = -1780 + 18/3 X + 29/1 Y - 0/0193Z$	۲۷	مارس	۲۰۰۷	$333 = 206 - 5/15 X + 1/63 Y + 0/0175Z$	۲۹	نوامبر	۲۰۰۳
$342 = -745 + 8/32 X + 11/3 Y + 0/00716Z$	۸	دسامبر	۲۰۰۷	$336 = -750 + 7/41 X + 12/6 Y + 0/00663 Z$	۲	دسامبر	۲۰۰۳

*- رابطه معنی‌داری بین متغیر وابسته و متغیرهای مستقل وجود ندارد.

ارزیابی ساختار مکانی داده‌ها

نتایج تعیین نیم‌تغییرنماهای تجربی و مدل‌های نیم-تغییرنمای بهینه داده بارندگی در روش کریجینگ و باقیمانده-

های روش رگرسیون کریجینگ در جداول ۳ و ۴ ارائه شده است. نتایج جدول ۳ بیانگر آن است که در روش کریجینگ فقط در ۲۳ روز از ۳۴ روز مورد بررسی، نسبت اثر قطعه‌ای به

ها در منطقه است. بر اساس نتایج جدول ۴ در روش رگرسیون کریجینگ فقط ۲۰ روز از ۲۸ سری داده باقیمانده بارندگی، ساختار مکانی مناسب دارند. همچنین مدل تئوری کروی در بیشتر موارد مدل نیم‌تغییرنمای بهینه باقیمانده‌ها است.

کل تغییرپذیری $[CO/(C+CO)]$ کمتر از ۰/۵ است و نقش مؤلفه ساختاردار بارندگی بیشتر از مؤلفه بی‌ساختار آن است. این امر بیانگر ساختار مکانی مناسب داده‌های بارندگی در این روزها و امکان استفاده از روش کریجینگ برای درون‌یابی داده-

جدول ۳- مشخصات نیم‌تغییرنماهای بهینه برای داده‌های بارندگی روزانه در استان خوزستان- روش کریجینگ

سال	ماه	روز	مدل	اثر قطعه‌ای (C_0)	آستانه (C_0+C)	دامنه تأثیر (Km)	$C_0/(C_0+C)$	ضریب همبستگی	مجموع مربعات خطا
۲۰۰۰	ژانویه	۶	نمایی	۰/۷	۵/۵	۱۰۱/۲	۰/۱	۱	۰/۵
۲۰۰۰	فوریه	۱۴	کروی	۰	۷/۳	۱۰۵/۷	۰	۱	۰/۶
۲۰۰۰	نوامبر	۵	بی ساختار						
۲۰۰۰	دسامبر	۱۱	بی ساختار						
۲۰۰۱	ژانویه	۸	بی ساختار						
۲۰۰۱	فوریه	۱۵	بی ساختار						
۲۰۰۱	مارس	۱۰	بی ساختار						
۲۰۰۱	دسامبر	۸	نمایی	۰	۶	۷۹/۹	۰	۰/۸	۴/۲
۲۰۰۲	ژانویه	۷	کروی	۱/۲	۴/۵	۱۱۹/۱	۰/۳	۰/۸	۰/۸
۲۰۰۲	فوریه	۱۹	کروی	۰	۲/۱	۶۰/۱	۰	۰/۹	۰/۲
۲۰۰۲	مارس	۱۸	کروی	۰	۳/۲	۱۳۷/۹	۰	۰/۹	۰/۹
۲۰۰۲	دسامبر	۱	کروی	۰	۳/۱	۳۳/۶	۰	۰/۸	۱/۷
۲۰۰۳	ژانویه	۴	نمایی	۰/۱	۹۰/۵	۶۹/۷	۰	۰/۸	۱۲۸۲
۲۰۰۳	فوریه	۴	بی ساختار						
۲۰۰۳	نوامبر	۲۹	کروی	۰	۲/۸	۴۰/۵	۰	۰/۸	۱/۳
۲۰۰۳	دسامبر	۲	بی ساختار						
۲۰۰۴	ژانویه	۱۳	نمایی	۱	۱۰۲۸	۵۳/۷	۰	۰/۹	۱۷۲۳
۲۰۰۴	فوریه	۲	کروی	۰	۳/۵	۷۶	۰	۰/۹	۱/۴
۲۰۰۴	نوامبر	۲۳	نمایی	۱	۳/۶	۴۵/۲	۰/۳	۰/۸	۰/۴
۲۰۰۴	دسامبر	۲۵	کروی	۰	۹	۲۸/۵	۰	۰/۸	۳/۹
۲۰۰۵	ژانویه	۱۰	بی ساختار						
۲۰۰۵	فوریه	۹	کروی	۰	۴	۳۹	۰	۰/۹	۲/۳
۲۰۰۵	نوامبر	۱۶	نمایی	۰	۱/۶	۵۷/۱	۰	۰/۷	۰/۶
۲۰۰۵	دسامبر	۲۵	نمایی	۰	۴/۹	۱۱۹/۳	۰	۰/۹	۱/۸
۲۰۰۶	ژانویه	۲۷	نمایی	۱/۳	۱۱	۲۲۹/۴	۰/۱	۰/۸	۱۰
۲۰۰۶	فوریه	۹	کروی	۰	۷	۱۳۷/۲	۰	۰/۹	۵/۴
۲۰۰۶	نوامبر	۱۳	بی ساختار						
۲۰۰۶	دسامبر	۱۷	نمایی	۵۸/۷	۳۲۱/۷	۷۸/۸	۰/۲	۰/۹	۵۲۳۲
۲۰۰۷	ژانویه	۱۳	کروی	۰/۹	۱/۴	۱۸۵/۹	۰/۲	۱	۰/۳
۲۰۰۷	فوریه	۴	کروی	۰	۴/۴	۳۶/۵	۰	۰/۹	۱/۱
۲۰۰۷	مارس	۲۷	کروی	۰	۵/۶	۵۷/۲	۰	۰/۹	۱/۷
۲۰۰۷	دسامبر	۸	نمایی	۰/۱	۳۱۴/۴	۹۴/۱	۰	۱	۱۵۸۸

جدول ۴- مشخصات نیم تغییرنماهای بهینه برای داده‌های باقیمانده بارندگی در ایستگاه‌ها- روش رگرسیون کریجینگ

سال	ماه	روز	مدل	اثر قطعه‌ای (C_0)	آستانه (C_0+C)	دامنه تأثیر (Km)	$C_0/(C_0+C)$	ضریب همبستگی	مجموع مربعات خطا
۲۰۰۰	ژانویه	۶	کروی	۰/۱	۱۹۰/۶	۴۸/۱	۰	۱	۱۳۴
۲۰۰۰	فوریه	۱۴	کروی	۰/۱	۱۸۴/۳	۲۹/۵	۰	۰/۷	۸۷۶۰
۲۰۰۰	نوامبر	۵				بی ساختار			
۲۰۰۰	دسامبر	۱۱				بی ساختار			
۲۰۰۱	فوریه	۱۵				بی ساختار			
۲۰۰۱	مارس	۱۰				بی ساختار			
۲۰۰۲	ژانویه	۷	کروی	۰/۱	۲۳۵/۷	۲۱/۷	۰	۰/۷	۲۰۷۷۷
۲۰۰۲	فوریه	۱۹	نمایی	۰/۵	۲/۷	۱۵۳/۸	۰/۲	۱	۰
۲۰۰۲	مارس	۱۸	کروی	۲۷	۱۶۲/۱	۵۴/۷	۰/۲	۱	۲۱۴
۲۰۰۳	ژانویه	۴	کروی	۰/۱	۶۱/۵	۲۳/۴	۰	۰/۸	۸۷۶
۲۰۰۳	فوریه	۴				بی ساختار			
۲۰۰۳	نوامبر	۲۹	کروی	۰/۰۰۱	۲/۶	۴۳/۹	۰	۰/۹	۱/۱
۲۰۰۳	دسامبر	۲				بی ساختار			
۲۰۰۴	ژانویه	۱۳	کروی	۱	۸۳۳/۲	۳۳/۲	۰	۰/۹	۸۴۲۳۱
۲۰۰۴	فوریه	۲	نمایی	۰/۱	۵۲/۹	۸۳/۵	۰	۰/۷	۳۲۰
۲۰۰۴	نوامبر	۲۳				بی ساختار			
۲۰۰۴	دسامبر	۲۵	کروی	۱	۴۴۳/۵	۳۳/۹	۰	۰/۸	۲۸۸۵۴
۲۰۰۵	فوریه	۹	کروی	۰	۱/۶	۲۹/۳	۰	۰/۸	۰/۵
۲۰۰۵	نوامبر	۱۶	کروی	۰/۱	۵۴	۲۰/۲	۰	۰/۶	۱۴۳۱
۲۰۰۵	دسامبر	۲۵	کروی	۰/۱	۲۶۴/۲	۳۴/۱	۰	۰/۹	۲۲۹۲
۲۰۰۶	ژانویه	۲۷	کروی	۱	۶۱۵/۸	۲۰/۴	۰	۰/۸	۶۷۱۰۱
۲۰۰۶	فوریه	۹	کروی	۰/۱	۱۶۹/۷	۲۲/۴	۰	۰/۷	۹۳۵۳
۲۰۰۶	نوامبر	۱۳				بی ساختار			
۲۰۰۶	دسامبر	۱۷	کروی	۰/۱۶	۳	۵۱/۳	۰/۱	۰/۹	۰/۵
۲۰۰۷	ژانویه	۱۳	کروی	۱۹	۷۶/۹	۷۵/۵	۰/۲	۰/۹	۲۲۵
۲۰۰۷	فوریه	۴	کروی	۱۷	۱۵۷/۳	۲۹/۸	۰/۱	۰/۹	۱۱۹۳
۲۰۰۷	مارس	۲۷	کروی	۱	۴۸۹/۴	۵۰/۳	۰	۰	۶۰۰۸
۲۰۰۷	دسامبر	۸	کروی	۰/۱	۱۷۴/۱	۲۸/۶	۰	۰	۵۰۹

مقایسه نتایج روش‌های درون‌یابی

برای تعیین مناسب‌ترین روش درون‌یابی بارندگی روزانه در استان خوزستان چهار روش درون‌یابی مورد مقایسه قرار گرفتند. بدین ترتیب که ابتدا تکنیک اعتبارسنجی متقاطع بر کلیه روش‌های درون‌یابی مورد مطالعه اعمال گردید و سپس شاخص‌های میانگین مربعات خطا، میانگین خطای اریب و میانگین خطای مطلق هر روش محاسبه شدند که نتایج آن‌ها در جدول ۵ ارائه شده است. البته همانگونه که ذکر شد روش

کوکریجینگ بدلیل عدم همبستگی بین متغیر بارندگی روزانه و ارتفاع، از محاسبات حذف گردید. مقایسه مقادیر شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا و میانگین خطای مطلق (جدول ۵) در روزهای مورد مطالعه نشان می‌دهد که روش رگرسیون کریجینگ نسبت روش‌های کریجینگ عمومی و وزنی عکس‌فاصله دارای خطای بسیار کمتری در برآورد بارندگی روزانه می‌باشد. شاخص میانگین خطای اریبی نشان دهنده متوسط اختلاف

برآوردی و مقادیر ثبت شده در ایستگاهها نسبت به روش‌های دیگر کمتر می‌باشد. بنابراین روش رگرسیون کریجینگ نسبت به روش‌های کریجینگ عمومی و وزنی عکس فاصله دقت بالا-تری در برآورد بارندگی روزانه در استان خوزستان دارد.

مقادیر برآوردی و مشاهداتی است و هر چه این شاخص به صفر نزدیکتر باشد روش درون‌یابی مورد نظر از دقت بالاتری برخوردار است. ارزیابی مقادیر این شاخص (جدول ۵) بیانگر آن که در روش رگرسیون کریجینگ اختلاف مقادیر بارندگی روزانه

جدول ۵- مقادیر خطای شاخص‌های مختلف در روش‌های درون‌یابی بکارگرفته شده برای داده‌های بارندگی روزانه

سال	ماه	روز	RMSE			MBE			MAE		
			وزنی عکس فاصله	کریجینگ عمومی	رگرسیون کریجینگ	وزنی عکس فاصله	کریجینگ عمومی	رگرسیون کریجینگ	وزنی عکس فاصله	کریجینگ عمومی	رگرسیون کریجینگ
۲۰۰۰	ژانویه	۶	۱۲/۷۴	۱۲/۸۱	۱۳/۱۹	۲/۹	۲/۹۳	۰/۱۴	۹/۲	۹/۶	۹/۱
۲۰۰۰	فوریه	۱۴	۲۸/۲۷	۲۸/۰۸	۱۲/۰۹	۱۹/۵۳	۱۹/۴۷	-۰/۲۸	۱۹/۸	۱۹/۸	۱/۹
۲۰۰۲	ژانویه	۷	۳۰/۷۴	۳۰/۸	۱۵/۹۸	۲۱/۷۱	۲۱/۸۱	۱/۳۸	۲۱/۸	۲۱/۹	۱۲/۱
۲۰۰۲	فوریه	۱۹	۱۳/۵	۱۳/۳۳	۷/۲۹	۱۰/۵۲	۱۰/۳۷	۱/۴۴	۱۰/۸	۱۰/۶	۵/۳
۲۰۰۲	مارس	۱۸	۲۴/۴۵	۲۴/۳۸	۹/۱۹	۲۰/۰۹	۲۰/۱۱	-۰/۰۴	۲۰/۱	۲۰/۱	۶/۷
۲۰۰۳	ژانویه	۴	۷/۹۱	۸/۲۵	۷/۴۱	۰/۷۶	۰/۰۷	۰/۱۴	۵/۷	۵/۹	۵/۶
۲۰۰۳	نوامبر	۲۹	۱۲/۱۹	۱۲/۲۱	۸/۰۶	۷/۱۶	۷/۱۶	-۰/۹۶	۷/۸	۷/۸	۴/۸
۲۰۰۴	ژانویه	۱۳	۲۹/۶۸	۲۹/۲۷	۲۹/۲	۲/۳	۰/۲۸	۰/۴۱	۲۳/۴	۲۳/۷	۲۴/۴
۲۰۰۴	فوریه	۲	۹/۳۵	۹/۳	۶/۶	۵/۷	۵/۸۵	-۰/۳۴	۶/۹	۶/۹	۴/۸
۲۰۰۴	دسامبر	۲۵	۳۰/۷۹	۳۱/۲۲	۲۱/۲۴	۲۱/۳۵	۲۱/۶۸	۱/۴۷	۲۳/۷	۲۴	۱۷/۶
۲۰۰۵	فوریه	۹	۱۱/۹۲	۱۱/۹۴	۱۰/۲۳	۵/۶۶	۵/۷۸	۰/۷۸	۷/۳	۷/۳	۷
۲۰۰۵	نوامبر	۱۶	۸/۶۳	۸/۶۲	۸/۵	-۰/۷	-۰/۳۳	-۰/۲۵	۶/۶	۶/۸	۷/۲
۲۰۰۵	دسامبر	۲۵	۳۱/۷۸	۳۱/۸۶	۱۳/۶۵	۲۵/۴۶	۲۵/۵۱	۰/۳۸	۲۵/۹	۲۶	۹/۸
۲۰۰۶	ژانویه	۲۷	۳۸/۰۳	۳۸/۱۹	۲۲/۳۵	۲۶/۶۲	۲۶/۵۸	-۰/۷۳	۲۷/۲	۲۷/۱	۱۶/۴
۲۰۰۶	فوریه	۹	۳۴/۹	۳۴/۷۹	۱۳/۲۵	۲۵/۷۱	۲۵/۸۲	-۰/۹۳	۲۵/۹	۲۶	۱۰/۲
۲۰۰۶	دسامبر	۱۷	۱۵/۱۵	۱۵/۲۹	۱۶/۱۱	-۱/۷۹	-۰/۴۴	۱/۷۸	۱۰/۸	۱۱/۱	۱۲/۹
۲۰۰۷	ژانویه	۱۳	۱۷/۱۸	۱۷/۱۷	۷/۷۴	۱۲/۴۷	۱۲/۴۸	-۰/۸۲	۱۳	۱۳	۶/۱
۲۰۰۷	فوریه	۴	۲۱/۷۷	۲۱/۸	۱۳/۱۲	۱۴/۸۳	۱۴/۷۹	۰/۷۴	۱۶	۱۵/۹	۹/۵
۲۰۰۷	مارس	۲۷	۳۶/۲۸	۳۶/۳	۱۵/۴۸	۲۷/۵۸	۲۷/۸۱	-۰/۷۵	۲۸/۴	۲۸/۵	۱۰/۹
۲۰۰۷	دسامبر	۸	۱۲/۶۳	۱۳/۴۱	۱۳/۲۳	-۱/۴۵	-۰/۳۹	-۰/۰۷	۱۰/۳	۱۰	۱۰/۵

نتایج ارزیابی خطای روش نزدیکترین همسایگی برای مقایسه داده‌های APHRODIT با داده‌های ایستگاهی

برای ارزیابی خطای روش نزدیکترین همسایگی که جهت مقایسه مقادیر بارندگی APHRODIT با داده‌های ایستگاهی بکار برده شده است، از تکنیک اعتبارسنجی متقاطع استفاده نموده و با محاسبه شاخص‌های ریشه میانگین مربعات خطا، میانگین خطای اریب، خطای مطلق میانگین و تحلیل رگرسیونی مقادیر خطای داده‌های APHRODIT نسبت به داده‌های ایستگاهها برآورد شدند که نتایج آن در جدول ۶ ارائه شده است.

مقایسه مقادیر بارندگی روزانه برآوردی APHRODIT و رگرسیون کریجینگ

باتوجه به اینکه روش کریجینگ رگرسیون بهترین روش درون‌یابی بارندگی روزانه در منطقه خوزستان تعیین گردید، بنابراین شاخص‌های ارزیابی خطا و تحلیل رگرسیونی روش کریجینگ رگرسیون با روش APHRODIT مقایسه شدند (جدول ۶). براساس نتایج جدول ۶ در ۸۰ درصد از موارد مقادیر خطای ریشه میانگین مربعات روش رگرسیون کریجینگ کمتر از خطای روش APHRODIT است. مقایسه میانگین خطای

میانگین نیز بیانگر دقت بالاتر روش رگرسیون کریجینگ نسبت به APHRODIT است زیرا در ۸۵ درصد از موارد خطای رگرسیون کریجینگ کمتر می‌باشد.

اریب دو روش نشان می‌دهد که در همه روزهای مورد بررسی روش رگرسیون کریجینگ با خطا کمتری بارندگی روزانه را در استان خوزستان برآورد می‌کند. بررسی مقادیر خطای مطلق

جدول ۶- مقایسه میانگین مربعات خطا روش‌های رگرسیون کریجینگ و APHRODIT در برآورد داده‌های بارندگی روزانه

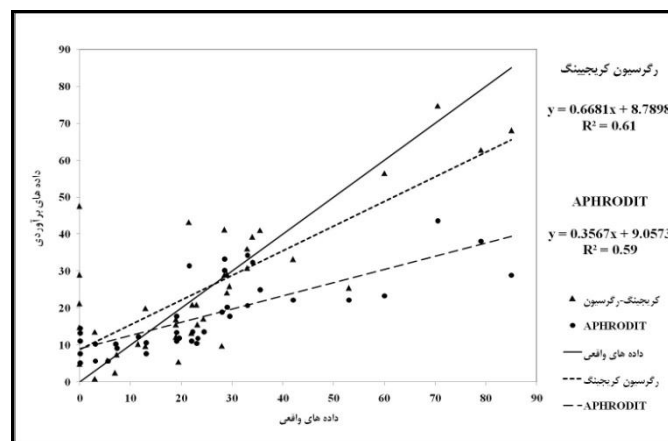
سال	ماه	روز	RMSE		MBE		MAE	
			رگرسیون کریجینگ	APHRODIT	رگرسیون کریجینگ	APHRODIT	رگرسیون کریجینگ	APHRODIT
۲۰۰۰	ژانویه	۶	۱۲/۲	۱۵/۸	۰/۱۴	۶/۶۱	۹/۱	۱۰/۸
۲۰۰۰	فوریه	۱۴	۱۲/۱	۱۵/۹	-۰/۲۸	۹/۳	۷/۹	۱۰/۱
۲۰۰۲	ژانویه	۷	۱۶	۱۴/۶	۱/۳۸	۲/۱	۱۲/۱	۱۰/۲
۲۰۰۲	فوریه	۱۹	۷/۳	۶/۲	۱/۴۴	۱/۸۲	۵/۳	۴/۵
۲۰۰۲	مارس	۱۸	۹/۲	۱۴/۶	-۰/۰۴	۱۱/۳۱	۶/۷	۱۱/۹
۲۰۰۳	ژانویه	۴	۷/۴	۷/۵	۰/۱۴	۳/۴۶	۵/۶	۶/۱
۲۰۰۳	نوامبر	۲۹	۸/۱	۹/۲	۰/۹۶	۲/۲۴	۴/۸	۵/۶
۲۰۰۴	ژانویه	۱۳	۲۹/۳	۳۲/۵	۰/۴۱	۱۹/۵۲	۲۴/۴	۲۵/۳
۲۰۰۴	فوریه	۲	۶/۶	۷/۴	-۰/۳۴	۲/۶۳	۴/۸	۶
۲۰۰۴	دسامبر	۲۵	۲۱/۲	۲۲/۸	۱/۴۷	۱۳/۷۹	۱۷/۶	۱۷/۷
۲۰۰۵	فوریه	۹	۱۰/۲	۱۱/۳	۰/۷۸	۴/۹۸	۷	۷/۱
۲۰۰۵	نوامبر	۱۶	۸/۶	۱۱/۷	-۰/۲۵	۸/۴	۷/۲	۹/۹
۲۰۰۵	دسامبر	۲۵	۱۳/۶	۱۴/۴	۰/۳۸	۶/۲۲	۹/۸	۱۱/۳
۲۰۰۶	ژانویه	۲۷	۲۲/۴	۲۱	-۰/۷۳	۴/۳۴	۱۶/۴	۱۵/۶
۲۰۰۶	فوریه	۹	۱۲/۲	۱۸/۴	۰/۹۳	۷/۹۲	۱۰/۲	۱۲/۸
۲۰۰۶	دسامبر	۱۷	۱۶/۱	۲۶/۶	۱/۷۸	۲۱/۶۲	۱۲/۹	۲۴/۳
۲۰۰۷	ژانویه	۱۳	۷/۷	۱۱/۳	۰/۸۲	۳/۸۴	۶/۱	۷/۷
۲۰۰۷	فوریه	۴	۱۲/۱	۱۹/۵	۰/۷۴	۱۲/۲۱	۹/۵	۱۴/۲
۲۰۰۷	مارس	۲۷	۱۵/۵	۲۲/۸	-۰/۷۵	۸/۱۲	۱۰/۹	۱۷/۳
۲۰۰۷	دسامبر	۸	۱۳/۲	۱۲/۷	-۰/۰۷	-۱/۷۸	۱۰/۵	۹/۶

APHRODIT بیشتر است. همچنین مقادیر شیب خط رگرسیون روش رگرسیون-کریجینگ نسبت به APHRODIT در اکثر روزها به یک نزدیکتر می‌باشد. در شکل‌های ۲ و ۳ تحلیل رگرسیونی روش‌های رگرسیون کریجینگ و APHRODIT در برآورد بارندگی روزانه نسبت به خط ۱:۱ برای دو روز نمونه ارائه شده است.

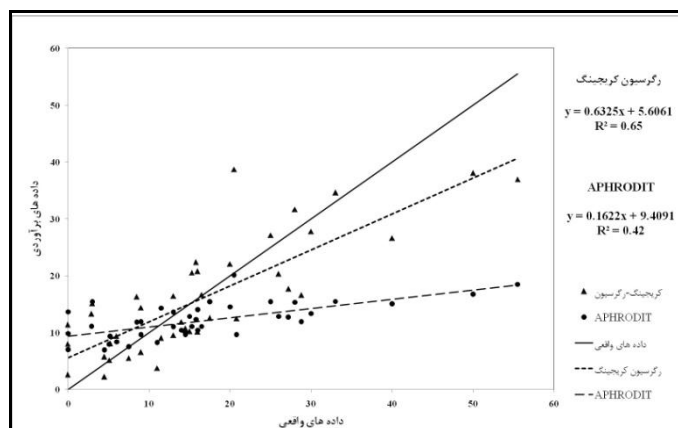
در تحلیل رگرسیونی، بین داده‌های بارندگی روزانه ثبت شده در ایستگاه‌ها و داده‌های برآوردی دو روش رگرسیون کریجینگ و APHRODIT رابطه رگرسیونی خطی ساده برقرار کرده و معادله روزهای مطالعاتی با خط ۱:۱ مقایسه گردید. نتایج تحلیل رگرسیونی (جدول ۷) نشان می‌دهد که در بیشتر روزها ضریب همبستگی روش رگرسیون-کریجینگ نسبت به

جدول ۷- نتایج تحلیل رگرسیونی روش‌های رگرسیون-کریجینگ و APHRODIT در برآورد بارندگی روزانه

سال	ماه	روز	ضریب همبستگی		عرض از مبدأ (a)		شیب (b)	
			رگرسیون کریجینگ	APHRODIT	رگرسیون کریجینگ	APHRODIT	رگرسیون کریجینگ	APHRODIT
۲۰۰۰	ژانویه	۶	۰/۶۲	۰/۵۹	۶/۷۹	۸/۱۸	۰/۷۱	۰/۳۷
۲۰۰۰	فوریه	۱۴	۰/۶۹	۰/۷۵	۴/۷۲	۲/۶۷	۰/۸	۰/۴۹
۲۰۰۲	ژانویه	۷	۰/۵۱	۰/۵۹	۱۰/۶۱	۱۱/۱۴	۰/۵۵	۰/۵
۲۰۰۲	فوریه	۱۹	۰/۴	۰/۵۹	۶/۶۴	۴/۸	۰/۴	۰/۵۱
۲۰۰۲	مارس	۱۸	۰/۶۱	۰/۶۳	۱۰/۲۸	۰/۹۲	۰/۵۹	۰/۵۱
۲۰۰۳	ژانویه	۴	۰/۳۷	۰/۲۶	۹/۹۵	۸/۰۹	۰/۳۸	۰/۳
۲۰۰۳	نوامبر	۲۹	۰/۴	۰/۲۲	۵/۰۲	۵/۰۵	۰/۳۸	۰/۲۵
۲۰۰۴	ژانویه	۱۳	۰/۲	۰/۲۸	۳۶/۷۱	۲۰/۱۶	۰/۳۳	۰/۳
۲۰۰۴	فوریه	۲	۰/۲۵	۰/۲۱	۴/۸۴	۳/۸۷	۰/۴۶	۰/۲۱
۲۰۰۴	دسامبر	۲۵	۰/۲۱	۰/۳۶	۱۵/۹۶	۲/۲۵	۰/۳۱	۰/۳۸
۲۰۰۵	فوریه	۹	۰/۰۶	۰/۰۲	۵/۲۱	۲/۴۶	۰/۱۶	۰/۰۳
۲۰۰۵	نوامبر	۱۶	۰/۴۲	۰/۴۶	۱۰/۰۱	۳/۱۹	۰/۵۴	۰/۴۶
۲۰۰۵	دسامبر	۲۵	۰/۵۵	۰/۲	۱۰/۹۴	۱۳/۸۲	۰/۶۳	۰/۳۴
۲۰۰۶	ژانویه	۲۷	۰/۴	۰/۵	۱۷/۷۲	۱۴/۴۵	۰/۴۵	۰/۴۲
۲۰۰۶	فوریه	۹	۰/۷۲	۰/۵۵	۶/۸۷	۷/۹۲	۰/۷۵	۰/۴۸
۲۰۰۶	دسامبر	۱۷	۰/۱۷	۰/۰۲	۲۴/۴۸	۱۴/۰۸	۰/۳	۰/۰۴
۲۰۰۷	ژانویه	۱۳	۰/۶۵	۰/۴۲	۵/۶۱	۹/۴۱	۰/۶۳	۰/۱۶
۲۰۰۷	فوریه	۴	۰/۳۸	۰/۲۴	۱۱/۴۶	۴/۸	۰/۳۶	۰/۰۶
۲۰۰۷	مارس	۲۷	۰/۶۱	۰/۲	۱۴/۶۸	۱۸/۷۴	۰/۶	۰/۱۸
۲۰۰۷	دسامبر	۸	۰/۳۵	۰/۳۲	۱۲	۱۷/۱۸	۰/۴۵	۰/۳۱



شکل ۲- تحلیل رگرسیونی روش‌های رگرسیون کریجینگ و APHRODIT در برآورد بارندگی روز ۶ ژانویه ۲۰۰۰



شکل ۳- تحلیل رگرسیونی روش های رگرسیون کریجینگ و APHRODIT در برآورد بارندگی روز ۱۳ ژانویه ۲۰۰۷

نتیجه گیری

در این مطالعه چهار روش درون یابی: وزنی عکس فاصله، کریجینگ عمومی، کوکریجینگ و رگرسیون کریجینگ جهت تعیین مناسب ترین روش برآورد بارندگی روزانه در استان خوزستان با استفاده از داده های ۴۴ ایستگاه در ۳۲ روز مورد بررسی با یکدیگر مقایسه شدند. نتایج ارزیابی شاخص های خطا در روش های درون یابی نشان داد که روش رگرسیون کریجینگ نسبت به کریجینگ عمومی و روش وزنی عکس فاصله دقت بالا-تری در برآورد بارندگی روزانه دارد. بنابراین مشخص گردید که روش های درون یابی مبتنی بر روابط رگرسیونی که از چندین متغیر کمکی استفاده می کنند، دقت برآورد بارندگی را در منطقه بهبود می دهند.

بنابراین مشخص گردید که روش های درون یابی مبتنی بر روابط رگرسیونی که از چندین متغیر کمکی استفاده می کنند، دقت برآورد بارندگی را در منطقه افزایش می دهند. البته مطالعات انجام شده در مناطق مختلف جهان در سال های اخیر نیز موید این موضوع می باشند. مانند مطالعه واگنر و همکاران (۱۸) در حوضه آبریزی در هند که مشخص نمود روش های درون یابی رگرسیونی در برآورد بارندگی روزانه نتایج بهتری نسبت روش های تک متغیره دارند. تحقیق دی پیزا و همکاران (۹) در سیسیل ایتالیا نیز نشان داد که برای تکمیل سری زمانی داده های ماهانه بارندگی روش های تک متغیره بدون در نظر گرفتن متغیر کمکی ارتفاع خطای زیادی در برآورد دارند ولی استفاده از ارتفاع در محاسبات سبب کاهش خطاها می-گردد. همچنین مطالعه ی ورون و هابرلند (۱۶) در شمال

آلمان نیز بیانگر آن است که درون یابی مکانی بارندگی ساعتی با روش کریجینگ با روند خارجی و ترکیب متغیرهای کمکی مختلف، الگوهای مکانی بارندگی را در منطقه بطور قابل ملاحظه بهبود می دهند.

مقایسه تحلیلی بهترین روش درون یابی بارندگی روزانه و روش شبکه APHRODIT بیانگر آن بود که براساس مقادیر خطای ریشه میانگین مربعات و خطای مطلق میانگین دقت روش رگرسیون کریجینگ در بیشتر روزهای مورد بررسی از روش APHRODIT بالاتر است. همچنین مقایسه میانگین خطای اریب دو روش نشان داد که در همه روزهای مورد مطالعه روش رگرسیون کریجینگ با خطا کمتری بارندگی روزانه را در استان خوزستان برآورد می کند. نتایج تحلیل رگرسیونی روش های رگرسیون کریجینگ و APHRODIT نیز مشخص کرد که در بیشتر روزها ضریب همبستگی بین مقادیر واقعی و برآوردی روش رگرسیون کریجینگ بیشتر است. بنابراین با توجه به نتایج بدست آمده از این تحقیق برای دستیابی به توزیع مکانی و داده های برآوردی بارندگی روزانه در سطح منطقه ای، روش درون یابی رگرسیون کریجینگ مناسب تر و دقیق تر از داده های برآوردی بارندگی روزانه شبکه APHRODIT در استان خوزستان است. پیشنهاد می گردد به منظور اعتبارسنجی و استفاده کاربردی از داده های شبکه APHRODIT در دیگر مناطق کشور، علاوه بر مقایسه مقادیر این شبکه با داده های زمینی، مقایسه ای نیز با داده های بارندگی مبتنی بر سنجش از دور صورت پذیرد.

سیاسگزاری

نگارندگان از دفتر تحقیقات شبکه‌های آبیاری و زهکشی سازمان آب و برق خوزستان به دلیل حمایت‌های مالی و سازمان هواشناسی کشور به دلیل در اختیار قرار دادن داده‌های هواشناسی تشکر می‌نمایند.

منابع

بارانی‌زاده الف، بهیار م.ب، جوانمرد س. و عابدینی ی.ع. ۱۳۹۰. صحت سنجی برآوردهای بارندگی الگوریتم ماهواره‌های PERSIANN با داده‌های بارش زمینی شبکه‌بندی شده APHRODIT در ایران. مجموعه مقالات کنفرانس فیزیک ایران. ۲۶۱۸-۲۶۱۵.

حسینی پاک ع.الف. ۱۳۸۶. زمین آمار (ژئواستاتستیک)، انتشارات دانشگاه تهران.

رضیعی ط، عزیزی ق، محمدی ح. و خوش اخلاق ف. ۱۳۸۹. الگوهای روزانه گردش جو زمستانه تراز ۵۰۰ هکتوپاسکال بر روی ایران و خاورمیانه. مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی ۷۴: ۳۴-۱۷.

مدنی ح. ۱۳۷۳. مبانی زمین‌آمار. دانشگاه صنعتی امیرکبیر - واحد تفرش.

میرموسوی ح، مزیدی الف. و خسروی ی. ۱۳۸۹. تعیین بهترین روش زمین‌آمار جهت تخمین توزیع بارندگی با استفاده از GIS (مطالعه موردی: استان اصفهان). فصلنامه فضای جغرافیایی ۱۰(۳۰): ۱۲۰-۱۰۵.

نادی م، جامعی م. و بذرافشان م.ج. ۱۳۹۱. ارزیابی روش‌های مختلف درون‌یابی داده‌های بارندگی ماهانه و سالانه (مطالعه موردی: استان خوزستان). مجله پژوهش‌های جغرافیای طبیعی ۴۴(۴): ۱۳۰-۱۱۷.

Beven K.J. 2001. Rainfall-runoff Modelling: The Primer. John Wiley and Sons Ltd., Chichester.

Coulibaly M. and Becker S. 2007. Spatial Interpolation of Annual Precipitation in South Africa - Comparison and Evaluation of Methods. Journal of International Water Resources Association, 32(3): 494-502.

Di Piazza A., Lo Conti F., Noto L.V., Viola F. and Loggia G.La. 2011. Comparative analysis of different techniques for spatial interpolation of rainfall data to create a serially complete monthly time series of precipitation for Sicily, Italy, International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation, 13 : 396-408.

Francisco J.M. 2010. Comparison of different geostatistical approaches to map climate variables: application to precipitation. International Journal of Climatology, 30: 620-631.

Kamiguchi K., Arakawa O., Kitoh A., Yatagai A., Hamada A. and Yasutomi N. 2010. Development of APHRO_JP, the first Japanese high-resolution daily precipitation product for more than 100 years. Hydrological Research Letters, 4:60-64.

Odeh I.O.A., McBratney A.B. and Chittleborough D.J. 1995. Further results on prediction of soil properties from train attributes: heterotopic Cokriging and regression-kriging. Geoderma 673: 215-226.

Rajeevan M. and Bhat J. 2009. A high resolution daily gridded rainfall dataset (1971-2005) for meso-scale meteorological studies. Curr. Sci, 96:558-562.

Raziei T., Mofidi A., Santos J. and Bordi I. 2011. Spatial patterns and regimes of daily precipitation in Iran in relation to large-scale atmospheric circulation. International Journal of Climatology. International Journal of Climatology, 32(8), 1226-1237.

Torres M.P.J. and Jacquin A.P. 2011. Geostatistical interpolation of precipitation data over an Andean catchment in Central Chile. Geophysical Research Abstracts, 13:EGU2011-3829-1.

Verworn A. and Haberlandt U. 2011. Spatial interpolation of hourly rainfall - effect of additional

information, variogram inference and storm properties. *Hydrology and Earth System Sciences*, 15:569–584.

Vu M.T., Raghavan S.V. and Liang S.Y. 2012. SWAT use of gridded observations for simulating runoff – a Vietnam river basin study *Hydrology and Earth System Sciences*, 16: 2801–2811.

Wagner P.D., Fiener P., Wilken F., Kumar Sh. and Schneider K. 2012. Comparison and evaluation of spatial interpolation schemes for daily rainfall in data scarce regions. *Journal of Hydrology*, 464–465 (2012): 388–400.

Wilks D.S. 2006. *Statistical Methods in the Atmospheric Sciences*, Second Edition, Academic Press is an imprint of Elsevier, Cornell University, USA.

Zhang X. and Srinivasan R. 2009. GIS-Based Spatial Precipitation Estimation: A Comparison of Geostatistical Approaches. *Journal of the American Water Resources Association*, 45(4) :894–906.

Yatagai A., Kamiguchi K., Arakawa O., Hamada A., Yasutomi N. and Kitoh A. 2012. APHRODITE: Constructing a Long-Term Daily Gridded Precipitation Dataset for Asia Based on a Dense Network of Rain Gauges. *Bulltion of American Meteorological Society*, 9: 1401–1415.

Validation of Grid APHRODIT Daily Precipitation Estimates and Estimates Derived from Spatial Interpolation of Precipitation in the Khuzestan Province

Mozhdeh Jamei*¹ - Mohammad Mousavi Baygi² - Mohammad Bannayan³

Received:

Accepted:

Abstract

Accurate and reliable precipitation data is very important for hydrological studies, water resources management and planning. In this study, to obtain the most appropriate method for estimating regional precipitation in Khuzestan province, the estimated daily precipitation data from the optimal interpolation method and APHRODIT daily grid precipitation data were compared with measured data from 44 meteorological stations during the 2000-2007 years. Four interpolation methods i.e. Inverse Distance Weighted, Ordinary Kriging, Cokriging, and Regression Kriging were assessed to determine the most appropriate interpolation method for daily precipitation. For the variography analysis in Kriging models, five variogram models including spherical, exponential, linear, linear to sill and Gaussian were fitted on the precipitation data. Near neighbor method was used to compare APHRODIT daily precipitation data with measured data in stations. Cross validation was using to evaluate different methods and the most appropriate method was determined based on Root Mean Square Error, Mean Bias Error, Mean Absolute Error indices and regression analysis. The results from evaluation of errors in interpolation methods showed that the regression Kriging method has the highest accurate to interpolation of daily precipitation data in Khuzestan province. Therefore, regression-based interpolation methods which using covariates would be improved precipitation evaluate accurate in the area. The Comparison of error indices and regression analysis of regression Kriging method and APHRODITE grid indicated that Estimation accuracy of regression Kriging is higher than the APHRODITE in the most days. Therefore to obtain the spatial distribution and estimate of regional daily precipitation in Khuzestan Province, Regression Kriging interpolation method is more accurate than estimate data of APHRODITE.

Keywords: Daily Precipitation, Regression Kriging, APHRODITE, Khuzestan

1- PhD student of Agrometeorology, Ferdowsi University of Mashhad

(*- Corresponding Author Email: Mzhdeh.jamei@gmail.com)

2 -Professor of Meteorology, Ferdowsi University of Mashhad

3 - Associate Professor of Agricultural Department, Ferdowsi University of Mashhad